

## **«Розробка методів визначення ресурсних показників та прогнозування залишкового ресурсу високонавантажених технічних систем за критеріями пошкоджуваності»**

### ***Основні наукові результати***

Під час виконання роботи створено метод імовірнісної оцінки довговічності та пошкоджуваності конструктивних елементів ГТД при повторно-статичному та циклічному навантаженні для випадків підсумовування незалежних та залежних випадкових пошкоджувальностей. При цьому враховується стохастичний розкид, обумовлений стохастичною природою міцності матеріалу та похибками виміру параметрів навантаження, які використовуються при розрахунку пошкоджуваності. Розроблено імовірнісні моделі підсумовування пошкоджень, які засновані на використанні центральної граничної теореми та безмежної подільності законів розподілу. Використання цих моделей дозволяє проводити моніторинг виробітку ресурсу у імовірнісній постановці. Розроблено метод визначення імовірнісних характеристик коефіцієнтів запасу міцності і вироблення ресурсу деталей ГТД. Встановлено зв'язок цих характеристик з пошкоджуваністю. Отримано залежності між параметрами навантаження та характеристиками процесу формування системи поверхневих мікротріщин та визначено їхні параметри. На базі аналізу цих залежностей розроблена структурна модель формування об'єднаних ушкоджень на поверхні матеріалу. Створена математична модель пошкодження матеріалу системою поверхневих мікротріщин забезпечує моделювання процесів зародження, росту та об'єднання взаємодіючих мікротріщин. Модель враховує не тільки взаємне розташування мікротріщин, але їхню силову взаємодію, яка виражається в прискореному рості та об'єднанні мікротріщин при наближенні їхніх кінців. Використовуючи розроблену модель проведено теоретичне обґрунтування критичних значень концентрації розсіяних тріщин при їхньому об'єднанні.

Розроблено метод попередньої обробки інформації, отриманої інструментальними методами (довжини мікротріщин). Створено алгоритм фільтрації цієї інформації. Метою цього алгоритму є вилучення з процесу ідентифікації даних з низьким рівнем достовірності. Розроблено процедуру розрахунку за відфільтрованою інформацією інтегральних характеристик множинної пошкоджуваності, необхідних для проведення ідентифікації математичної моделі множинного руйнування. Створено метод параметричної ідентифікації моделі множинного руйнування. Метою ідентифікації є визначення значень основних режимних параметрів математичної моделі множинного руйнування. Під час обробки експериментальних даних отримано, що за величину мінімального розміру дефекту, який можна вважати мікротріщиною, для жароміцних сплавів можна вважати розмір дефекту приблизно 2,3 мкм и цей розмір не залежить від характеру навантаження. Розроблено методи прогнозування ресурсних показників високонавантажених технічних систем, що при прогнозуванні використовують методи математичного моделювання. Отримані методи дозволяють виконувати прогнозування ресурсних показників складних технічних систем з урахуванням особливостей періоду прогнозування: умов роботи, режимів роботи техніки. Прогнозування ведеться у імовірнісній постановці.

Розроблено методи прогнозування ресурсних показників високонавантажених технічних систем за структурними моделями пошкодження. Розроблений метод дозволяє не тільки використовувати при прогнозуванні результати розрахунків пошкодження у попередній період експлуатації та інформацію про наступний період, але й інформацію, отриману візуальними методами. Використанні цієї інформації дозволяє значно підвищити точність та адекватність прогнозу, зменшити невизначеність результату. При прогнозуванні розраховується гама-відсотковий залишковий ресурс.

Розроблено правила прийняття рішень на керуючі дії за результатами роботи системи моніторингу пошкоджуваності деталей високонавантажених технічних систем.

### ***Практична цінність***

У ході виконання науково - дослідної роботи було розроблено методологію отримання методичного та алгоритмічного забезпечення автоматизованої системи моніторингу виробітку ресурсу. Наявність такої методології дозволяє прискорити процес створення відповідних автоматизованих систем (наприклад для авіаційної техніки).

Методи та алгоритми було виконано та випробувано на прикладі двигуна ПС-90А. Розробка математичної моделі множинного руйнування, її методичне та програмне забезпечення були розроблені на базі обробки даних про процеси множинної пошкоджуваності авіаційних жароміцних сплавів і можуть бути використані для широкого спектру матеріалів конструктивних елементів, що працюють в умовах високих температур та навантажень.

Отримані у ході роботи результати були впроваджені у науково - виробничому центрі "Техдіагаз" та закритому акціонерному товаристві "УРАРП" для:

1) оцінки інтенсивності виробітку фактичного ресурсу конструктивних елементів ГТД на базі обробки даних штатної системи реєстрації параметрів робочого процесу

2) ГТД з найбільшим рівнем накопичених пошкоджень шляхом аналізу параметрів пошкоджуваності;

3) прогнозування залишкового ресурсу за критеріями міцності та зменшення витрат, пов'язаних з відмовами ГТД та проведенням ТОіР;

4) формування рекомендацій з вдосконалення процесів технічної експлуатації парку однотипних ГТД.

Як установи, на яких може бути впроваджено результати науково – технічної роботи, слід назвати вітчизняних та закордонних експлуатантів авіаційної техніки, Пермське науково-виробниче об'єднання "Авіадвигун", Запорізьке ВАТ "Мотор-Січ", ремонтні заводи цивільної авіації, навчальні заклади авіаційного профілю. Впровадження може відбуватися шляхом включення розроблених методів визначення ресурсних показників ГТД на засадах альтернативності до існуючих систем визначення ресурсу. Шляхи просування на ринок – через участь у розробках автоматизованих (експертних) систем моніторингу виробітку ресурсу двигунів конкретних типів за окремими договорами та участь в науково практичних конференціях, семінарах, опублікування отриманих результатів у наукових виданнях, у інформаційних буклетах, шляхом презентацій та прямих переговорів з можливим замовником.

### **Перелік основних наукових публікацій, доповідей на конференціях, семінарах**

#### **Навчально-методичні видання**

1. Математичне моделювання систем і процесів: Методичні вказівки до виконання курсової роботи / О.Г.Кучер, О.С.Якушенко, І.О.Орлов. –К: НАУ, 2004. -28 с.

#### **Публікації в наукових виданнях**

1. Игнатович С.Р., Кучер А.Г., Якушенко А.С., Башта А.В.. Моделирование объединения рассеянных поверхностных трещин. Сообщение 1. Вероятностная модель объединения трещин. // Пробл. прочности. - 2004. – N2. - С.21-32.

2. Игнатович С.Р., Кучер А.Г., Якушенко А.С., Башта А.В.. Моделирование объединения рассеянных поверхностных трещин. Сообщение 2. Имитационная модель множественного разрушения. // Пробл. прочности. - 2005. – N1. - С.108-117.

3. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов, О.Г. Кучер та ін.; За ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 583 с.

4. Рикуніч Ю.М., Ситніков О.Є., Федорочко Я.Б., Кучер О.Г., Зайончковський Г.Й., Харитон В.В., Чердовських Я.І. Аналіз напруженого стану робочих елементів пневматичних клапанів з електромагнітним приводом. – Промислова гідравліка і пневматика, №4 (10), 2005. С. 55-62.

5. Кучер О.Г., Харитон В.В. Порівняння розрахункових методів для визначення напружено-деформованого стану диска турбіни авіаційного газотурбінного двигуна. – Вісник НАУ, №4, 2005, С. 43-50.

6. Кучер А.Г., Тышкевич А.В., Власенко П.А. Эксплуатационный мониторинг выработки ресурса критических элементов ГТД / Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», – 2006. – № 3. – С. 65–69.

7. Энциклопедия безопасности авиации / В.П. Бабак, В.П. Харченко, Н.С. Кулик, А.Г. Кучер и др.; За ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2006. – 940 с.

#### **Доповіді на конференціях, семінарах**

1. Игнатович С.Р., Кучер А.Г., Якушенко А.С. Проблемы идентификации математиче-

ской модели множественного разрушения материала. Матеріали V міжнародної НТК "Авіа-2003", 23-25 квітня 2003р. Т.3. - Київ: НАУ, 2003. - С.34.5 - 34.9.

2. Харитон В.В. Застосування методу кінцевих – елементів для розрахунку напружено деформованого стану в моделях прогнозування ресурсу ГТД. X Международный конгресс двигателестроителей, Рыбачье, 13-16 сентября 2005 г.

3. Кучер О.Г., Харитон В.В. Моделювання процесу пластичного деформування в середовищі розрахункового комплексу ANSYS //Матеріали міжнародної науково-технічної конференції АВІА-2004.

4. Кучер А.Г., Тышкевич А.В. Мониторинг поврежденности деталей ГТД в процессе эксплуатации // Матеріали МНК "Політ-2005", 12-13 квітня, 2005. – С.259

5. Кучер А.Г., Харитон В.В., Сухоруков А.Ю. Методы описания зависимостей Матеріали МНТК «Теория и методы обработки сигналов», 25-27 мая, 2005. – С.10-11.

6. Рикуніч Ю.М., Ситніков О.Є., Кучер О.Г. Аналіз і прогнозування зміни технічного стану пневматичних клапанів з електромагнітним приводом систем обладнання літальних апаратів. Тезиси доповіді до сьомої Міжнародної науково-технічної конференції асоціації спеціалістів ПГП «Промислової гідравліки і пневматики». м. Вінниця, 5-6 жовтня 2006 р.